



(18) BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND  
  
DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

(12) Offenlegungsschrift  
(10) DE 100 29 965 A 1

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**B 23 Q 17/09**  
B 23 B 19/02  
G 01 B 21/22  
B 23 B 25/06  
B 27 G 23/00

(21) Aktenzeichen: 100 29 965.2  
(22) Anmeldetag: 26. 6. 2000  
(43) Offenlegungstag: 3. 1. 2002

---

(71) Anmelder:  
Kluft, Werner, Dr.-Ing., 52078 Aachen, DE

(72) Erfinder:  
gleich Anmelder

---

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Verfahren und Vorrichtung zur präzisen, berührungslosen Belastungsmessung einer rotierenden Spindel zum Zwecke der Werkzeugüberwachung

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur präzisen, berührungslosen Belastungsmessung einer rotierenden Spindel zum Zwecke der Werkzeugüberwachung. Die Signale von berührungslosen Abstandssensoren in axialer oder radialer Richtung von Spindelwellen werden ohne Werkzeug- bzw. Spindelbelastung drehwinkelproportional gespeichert und die so gewonnenen Signale bei Werkzeug- bzw. Spindelbelastung zu Kompensationszwecken herangezogen. Somit entsteht ein sehr präzises, hochdynamisches Belastungssignal, welches frei von störenden Signalen, die aus Unebenheiten bzw. Unrundheiten der drehenden Wellenoberflächen resultieren, ist. Somit kann die Werkzeugüberwachung mit einem präzisen und hochdynamischen Belastungssignal des Werkzeuges erfolgen.

DE 100 29 965 A 1

DE 100 29 965 A 1

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur präzisen, berührungslosen Belastungsmessung einer rotierenden Spindel zum Zwecke der Werkzeugüberwachung gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

[0002] Überwachungseinrichtungen auf Basis berührungsloser Abstandssensoren an rotierenden Spindeln zum Zwecke der Erkennung von Werkzeugbruch und/oder -verschleiß an einer Bearbeitungsmaschine sind bereits bekannt. Die Auswertemethoden sind jedoch wesentlich zu ungenau, weil die aufgrund der Fertigungstoleranzen von Wellen verbleibenden Unebenheiten bzw. Unrundheiten der drehenden Spindelwellenoberflächen Signale erzeugen, welche den Messsignalen bei Belastung der Wellen überlagert sind.

[0003] Gemäß praktischer Erfahrungen liegen die Unebenheiten bzw. Unrundheiten auf den drehenden Spindelwellenoberflächen bei 1-10 µm. Die Nutzsignale durch die Werkzeugbelastung hingegen liegen demgegenüber in einer Größenordnung zwischen 5 und 20, ggf. auch 30 µm. Die Nutzsignale können deshalb in der Größenordnung der Störsignale, d. h. der Restunebenheiten bzw. Restunrundheiten, der drehenden Spindelwellenoberflächen liegen.

[0004] Die Patentschriften DE 42 38 338 bzw. EP 0 597 310 zeigen eine Überwachungseinrichtung für Werkzeuge einer Bearbeitungsmaschine, welche auf Abstandsmessungen mit induktiven Wegsensoren zwischen Spindelgehäuse und Spindelwelle basiert. Die Überwachungseinrichtung nennt jedoch kein Verfahren, mit dem die störenden Signale verursacht durch Unebenheiten bzw. Unrundheiten der drehenden Wellenoberflächen beseitigt werden können. Die Überwachungseinrichtung ist deshalb stark störsignalbehaftet und eignet sich daher nicht für den Einsatz in Bearbeitungsspindeln oder in Mehrspindelbohrköpfen, es sei denn, dass ein extrem hoher Aufwand bei der Herstellung der Wellenoberflächen getrieben wird. Dabei müsste durch Methoden der Fertigung garantiert werden, dass die Unebenheiten bzw. Unrundheiten deutlich unter 1 µm bleiben, welches heute bei standardmäßig gefertigten Spindelwellen bei weitem nicht der Fall ist.

[0005] Die Patentschrift DE 196 21 185 zeigt ein Verfahren und eine Vorrichtung zur berührungslosen Drehmomentmessung für die Werkzeugüberwachung mit Hilfe berührungsloser Wegaufnehmer. Im Patentanspruch 7 wird lediglich angedeutet, dass zur Kompensation nicht drehmomentproportionaler Axialbewegungen mit zwei berührungslosen Wegaufnehmern und deren Addition bzw. Subtraktion deren Wegsignale gewonnen wird. Dieses Verfahren mit zwei Wegaufnehmern kompensiert die Signale von Unebenheiten bzw. Unrundheiten von drehenden Wellenoberflächen allerdings theoretisch nur dann, wenn diese sich exakt sinoidisch verhalten und die zwei Wegaufnehmer um 180° gegeneinander versetzt angeordnet sind.

[0006] Führt man den Gedanken zur Kompensation bzw. Mittelung von Unebenheiten bzw. Unrundheiten durch mehr als einen Aufnehmer fort, so ergibt sich eine Verbesserung der Kompensation um so mehr, je mehr Aufnehmer zum Einsatz kommen. Diese Kompensation durch Parallelschaltung von Abstandssensoren führt theoretisch erst bei unendlichen vielen Aufnehmern am Umfang der Welle zu einem glatten, störungsfreien Messsignal. Diese Lösung käme einer Kostenexplosion gleich.

[0007] Durch Tiefpassfilter, deren Eckfrequenz deutlich niedriger als die Drehfrequenz der Welle ist, ließen sich die Messsignalanteile aufgrund der Unebenheiten bzw. Unrundheiten sehr einfach ausmitteln. Da die Filterfrequenz niedriger als die Drehfrequenz sein muss, wirken sich Signalveränderungen aufgrund der Werkzeugbelastung nicht mehr in-

nerhalb einer Werkstückumdrehung im Messsignal aus. Für sehr kurze Reaktionszeiten, z. B. nach einem Werkzeugbruch, ist jedoch eine sehr schnelle Reaktion für die Spindelstillsetzung erforderlich, weshalb es für die Werkzeugüberwachung unumgänglich ist, innerhalb von Millisekunden auf Signalveränderungen reagieren zu können. Deshalb müssen Messsignale bis zu einer Frequenz von etwa 2 kHz durch den Sensor zur Verfügung gestellt werden. Da dies

10 wurde das erfahrungsgemäße Verfahren und die erfahrungsgemäße Vorrichtung zur präzisen, berührungslosen Belastungsmessung an einer rotierenden Spindel zum Zwecke der Werkzeugüberwachung entwickelt und hiermit zum Patent angemeldet.

15 [0008] Fig. 1 zeigt eine Welle (3) mit Lagern (26) und einem Wellenflansch bzw. -wulst (22), einem Werkzeug (1), einem Lagerdeckel (23), den Abstandssensoren (2) und deren Luftspalte (25) zwischen Abstandssensor und Welle in radialer oder axialer Richtung zu dieser die sich in ihrer

20 Dicke bei Verlagerung der Welle aufgrund einer Belastung z. B. am Werkzeug verändern und somit ein Messsignal (6,8) am Ausgang der Abstandssensoren (2) bewirken.

25 [0009] Wird das Werkzeug in radialer oder axialer Richtung zur Welle belastet, so erhöht bzw. erniedrigt sich der Luftspalt (25) bzw. der Abstand zwischen dem Abstandssensor und dem Wellenflansch bzw. -wulst (22) und erzeugt ein Messsignal am Ausgang der Abstandssensoren (2).

30 [0010] Die sich Wellenoberfläche im Bereich der Abstandssensoren (2) weist allerdings aufgrund der im Allgemeinen begrenzten Genauigkeit ihrer Herstellungsverfahren Unebenheiten und Unrundheiten auf. Diese führen mit dem Drehen der Welle auch ohne Belastung am Werkzeug oder an der Welle zu einer Veränderung des Luftspaltes (25) zwischen der Wellenoberfläche und dem Abstandssensor (2)

35 und zwar mehrfach innerhalb einer Werkstückumdrehung. Dies erzeugt ein Störsignal, welches um so höher ist, je größer die Restunebenheiten bzw. Restunrundheiten bei der mechanischen Fertigung der Welle waren. Fig. 3 zeigt beispielhaft den Signalverlauf beim Drehen der Welle ohne Werkzeugbelastung bzw. ohne Spindelbelastung (6), wie er durch Unebenheiten bzw. Unrundheiten entsteht. Fig. 3 zeigt auch, dass sich die Signale des Abstandssensors (2) mit jeder Spindelumdrehung (5) wiederholen.

40 [0011] Fig. 4 zeigt einen entsprechenden Signalverlauf gemäß Fig. 3, jedoch mit einer überlagerten, statischen Belastung am Werkzeug (1) bzw. an der Welle (3) nämlich den Signalverlauf beim Urehen der Welle mit Werkzeugbelastung bzw. Spindelbelastung (8).

45 [0012] Fig. 5 zeigt das reine, kompensierte Wellen- bzw. Werkzeugbelastungssignal (12), welches entsteht, nachdem das Messsignal ohne Werkzeug- bzw. Wellenbelastung (6) gemäß Fig. 3 vom Messsignal mit Werkzeugbelastung (8) gemäß Fig. 4 abgezogen wurde.

50 [0013] Das Messsignal ohne Werkzeugbelastung (6) gemäß Fig. 3 muss jedoch vor einer der Spindel oder das Werkzeug belastenden Messung aufgenommen und abgespeichert sein, damit es während dieser Messung zur Kompensation zur Verfügung gestellt werden kann. Ferner muss das Messsignal ohne Werkzeugbelastung (6) als Signal-

55 kurve über dem Drehwinkel abgespeichert werden, damit es synchronisiert über dem Drehwinkel mit dem Belastungssignal an der Spindel bzw. einem Werkzeug über den Drehwinkel kompensiert werden kann.

60 [0014] Erfahrungsgemäß werden deshalb in einem Speicherbaustein (16) ein Drehwinkel signal (11) aus einem Rotations-Drehgeber (10) und das Messsignal von mindestens einem Abstandssensor (2) ohne Werkzeugbelastung (6) eingelesen und diese miteinander gespeichert. Dieser Speicher-

vorgang wird durch ein binäres Schaltignal (17) ausgelöst für den Fall, dass der Bediener der Werkzeugmaschine neue Kompensationssignale aufnehmen möchte. Für den Fall der Belastungsmessung zum Zwecke der Werkzeugüberwachung ist das binäre Schaltignal (17) in den anderen, den Grundschaltzustand versetzt, welcher die Auswertungseinheit (16) dazu veranlasst, die gespeicherte Signalkurve ohne Werkzeugbelastung (6) synchron mit dem aktuell gelesenen Drehwinkel signal (11) des Rotations-Drehgebers und damit auch synchron mit dem aktuellen Messsignal unter Belastung an der Spindel bzw. dem Werkzeug (8) auszulesen und einem Differenzbildner-Baustein (18) zuzuführen, welcher das komensierte Ausgangssignal (9) aus der Differenz der Signale mit und ohne Belastung (6 und 8) liefert.

[0015] Dieses komensierte Ausgangssignal (9) steht hinsichtlich seiner Dynamik dem Ursprungssignal des Abstandssensors durch nichts nach, da keinerlei Tiefpassfilter verwendet werden. Da sich die Unebenheiten und Unrundheiten an den Oberflächen der Wellen nicht ändern, reicht in der Regel eine einmalige Abspeicherung dieser Signale im Speicherbaustein (16). Somit kann sich die Speicherung auf die Erstinstanznahme eines Systems zur Werkzeugüberwachung bei einer neuen Maschine beschränken und muss nicht durch den Bediener später regelmäßig wiederholt werden. Die Erfindungsgemäß Anordnung besticht somit durch ihre Einfachheit bei der Bedienung von Werkzeugmaschinen mit Werkzeugüberwachungseinrichtungen und liefert die für die Werkzeugüberwachung benötigten sehr schnellen Signale.

[0016] Zur Synchronisierung der Messsignalkurven ohne Werkzeugbelastung (6) und mit Werkzeugbelastung (8) zum Zwecke der Kompenstation kann anstelle des Drehwinkelsignals eines Rotations-Drehgebers (11) auch der Impuls (14) je Umdrehung der Welle von einem preiswerten Impulsgeber (13) verwendet werden. In diesem Falle liest der Speicherbaustein die Signalkurve ohne Werkzeugbelastung (6) mit dem Impuls mit selber Geschwindigkeit aus, wie er sie eingeladen hat. Alternativ bildet der Speicherbaustein mit seinem naturgemäß zugehörigen Rechenwerk den Drehwinkel durch proportionale 360°-Aufteilung zwischen den Impulsen erneut ab und ist so in der Lage, die Messsignalkurve ohne Werkzeugbelastung mit der Messsignalkurve mit Werkzeugbelastung übereinander zu bringen, um die Kompenstation durch den Differenzbildner-Baustein (18) exakt ohne jegliche Phasenschiebung sicherzustellen. Fig. 6, 7 und 8 zeigen den Ablauf entsprechend.

[0017] Das Verfahren und die Vorrichtung zur präzisen, berührungslosen Belastungsmessung einer rotierenden Spindel zum Zwecke der Werkzeugüberwachung ist nicht nur für einspindlige Werkzeug- bzw. Werkstückspindeln von großem Interesse, sondern insbesondere auch für Mehrspindelbohrköpfe. Es ist natürlich möglich, das Verfahren und die Vorrichtung auf alle Spindeln gemäß Anspruch 9 entsprechend einem mehrkanaligen Überwachungssystem zu übertragen. Letzteres ist jedoch nicht notwendig, da der Rotationsgeber (10) bzw. der Impulsgeber (13) nur einmal installiert werden muss, weil die Drehbewegungen der einzelnen Spindeln über die fest vorgegebenen Zähnezahlen der Zahnräder fest miteinander gekoppelt sind. Über einen Rechenbaustein lassen sich so für jede Welle bei bestimmten Drehwinkelpositionen Impulse erzeugen bzw. Drehgebersignale generieren, die der tatsächlichen Winkelposition einer jeder Welle entsprechen. Diese Hilfssignale können dann anstelle mehrerer Rotations-Drehgeber (10) bzw. mehrerer Impulsgeber (13) benutzt werden. Eine solche Berechnungsmethode über das Zähnezahlerhältnis bzw. die Zähnezahldifferenz muss sich von Umdrehung zu Umdrehung wiederholen und ist sowohl in Richtung schneller laufenden

als auch in Richtung langsamer laufender Wellen, ausgehend von der Welle, welche die einzigen Rotations-Drehgeber (10) bzw. den einzigen Impulsgeber (13) trägt, durchführbar.

- 5 [0018] Die Erfindung zur präzisen, berührungslosen Belastungsmessung einer rotierenden Spindel zum Zwecke der Werkzeugüberwachung ist besonders dann von großem Interesse, wenn ihre Vorrichtung nachrüstbar ist, d. h. an bereits bestehenden Einzelospindeln oder Mehrspindelbohrköpfen nachträglich installiert werden kann. Hierzu bietet sich der Lagerdeckel (23) an, der in der Regel einfach von den Spindelgehäusen abgenommen werden kann zwecks Anbringung einer Bohrung zur Aufnahme des Abstandssensors (2) bzw. der Abstandssensoren. Ferner bietet sich als Referenzfläche auf der Welle der Spindel der Wellenflansch bzw. auch Wellenwulst (22) genannt an, der in der Regel für ein Abdichtungslabyrinth, welches pressluftdurchströmt wird, genutzt wird und in den meisten Spindeln vorhanden ist. Entsprechendes ist in den Ansprüchen 15 und 16 ausgedrückt.

#### Bezeichnungsliste

- 1 Werkzeug
- 2 Abstandssensoren
- 3 Spindelwelle
- 4 Spindelgehäuse bzw. Spindelgehäusebauteil
- 5 Spindelumdrehung
- 6 Messsignalkurve ohne Werkzeugbelastung
- 7 Auswerteeinheit
- 8 Messsignalkurve mit Werkzeugbelastung
- 9 Kompenziertes Ausgangssignal
- 10 Rotations-Drehgeber
- 11 Drehwinkel signal des Rotations-Drehgebers
- 12 Reine, komensierte Wellen- bzw. Werkzeugbelastungskurve
- 13 Impulsgeber
- 14 Impuls je Umdrehung der Welle (3)
- 15 Zeit über der Wellendrehung, Zeitachse
- 16 Speicherbaustein
- 17 Binäres Schaltignal
- 18 Differenzbildner-Baustein
- 19 Schwellwert-Vergleichsbaustein
- 20 Werkzeugzustand
- 21 Rechenbaustein
- 22 Wellenflansch bzw. -wulst
- 23 Vorderer Lagerdeckel
- 24 Schwellwertvorgaben zur Werkzeugzustandsbewertung
- 25 Luftspalte bzw. Abdichtungslabyrinth bzw. Abstandsmesspalt für Abstandssensoren
- 26 Lager

#### Patentansprüche

1. Verfahren und Vorrichtung zum Überwachen von rotierenden Werkzeugen (1) mit mindestens einem Abstandssensor (2), der aufgrund der Belastung des Werkzeuges (1) die sich ergebende, relative Lageveränderung der rotierenden Spindelwelle (3) gegenüber dem ortsfesten Spindelgehäuse (4) bzw. einer seiner Bauteile in axialer oder radialem Richtung der Welle (3), verursacht durch Axialkräfte, Radialkräfte oder Drehmomente am Werkzeug (1) misst, dadurch gekennzeichnet, dass die sich über eine Spindelumdrehung (5) ohne Werkzeugbelastung ergebende Messsignalkurve (6), welche sich aufgrund von Unebenheiten bzw. Unrundheiten der drehenden Spindelwellenoberfläche ergibt, vor der Werkzeug- bzw. Wellenbelastung

erfasst und in einer Auswerteeinheit (7) gespeichert wird und dass die gespeicherte Kurve (6) von der Messsignalkurve über eine Wellenumdrehung mit Werkzeug- bzw. Wellenbelastung (8) zum Zwecke der Kompensation des Messsignalanteils aufgrund der Unebenheiten bzw. Unrundheiten der drehenden Wellenoberflächen über die Auswerteeinheit (7) abgezogen wird, die Auswerteeinheit somit ein Ausgangssignal (9) liefert, das ausschließlich der Spindelbelastung bzw. der Werkzeugbelastung entspricht.

2. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Messsignalkurven ohne und mit Werkzeugbelastung (6, 8) mit Hilfe eines Rotations-Drehgebers (10) auf der Welle über dem Drehwinkel signal (11) des Rotations-Drehgebers einer Spindelumdrehung aufgenommen wird und dass die so gebildete Signalkurve über dem Drehwinkel ohne Wellenbelastung (6) in der Auswerteeinheit (7) gespeichert wird, um sie von der entsprechenden Signalkurve über den Drehwinkel mit Werkzeug- bzw. Wellenbelastung (8) zu Kompensationszwecken abzuziehen, welches zu der reinen, kompensierten Signalkurve der Werkzeugbelastung (12) führt.

3. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Messsignalkurven ohne und mit Werkzeugbelastung (6, 8) mit Hilfe eines Impulsgebers (13) auf der Welle, der einen Impuls (14) je Umdrehung liefert, über der Umdrehungszeit (15) für eine Spindelumdrehung aufgenommen wird, wobei die Impulse (14) je Wellenumdrehung das periodische Signal der Unebenheiten und Unrundheiten der drehenden Wellenoberfläche auf der Zeitachse (15) definieren, und dass die so gebildete Signalkurve über der Umdrehungszeit ohne Wellenbelastung (6) in der Auswerteeinheit (7) gespeichert wird, um sie von der entsprechenden Signalkurve über den Drehwinkel mit Werkzeug- bzw. Wellenbelastung (8) zu Kompensationszwecken abzuziehen, welches zu der reinen, kompensierten Signalkurve der Werkzeugbelastung (12) führt.

4. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 1 und 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswerteeinheit (7) zwischen den Impulsen (14) des Drehgebers (13), die einmal je Umdrehung kommen, eine proportionale 360°-Teilung vornimmt und somit Signalkurven über den Drehwinkel gemäß Anspruch 2 entstehen und dass die so gebildete Signalkurve über den Drehwinkel ohne Wellenbelastung (6) in der Auswerteeinheit (7) gespeichert wird, um sie von der entsprechenden Signalkurve über den Drehwinkel mit Werkzeug- bzw. Wellenbelastung (8) zu Kompensationszwecken abzuziehen, welches zu der reinen, kompensierten Signalkurve der Werkzeugbelastung (12) führt.

5. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass dem Speicherbaustein (16) der Auswerteeinheit (7) von außen ein binäres Schaltsignal (17) zugeführt wird, wodurch dieser ohne Spindelbelastung dazu veranlasst wird, die Messsignalkurve für einen Spindelumdrehungsweg oder für eine Spindelumdrehungszeit (6) bzw. für die Zeit zwischen dem Impulsgebersignal (14) aufzunehmen und abzuspeichern und dass es sich in dieser Schalterstellung um die Lernphase bzw. die Abspeicherungsphase für die Messsignalkurve ohne Werkzeugbelastung handelt.

6. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das binäre Schaltsignal (17) gemäß Anspruch 5 in der alternativen, binären Schaltignalstellung den Speicherbaustein (16) dazu veranlasst, die gespeicherte Messkurve (6) gemäß An-

spruch 5 auszugeben und einem Differenzbildner-Baustein (18) zuzuführen, der die gespeicherte Signalkurve ohne Spindelbelastung (6) von der Signalkurve mit Spindelbelastung (8) abzieht und als Ergebnis das kompensierte Ausgangssignal (9) liefert.

7. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstandssensor (2) vorzugsweise ein induktiver Abstandssensor ist.

8. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswerteeinheit (7) das kompensierte Ausgangs- bzw. Messsignal (9) mit für die Werkzeugüberwachung üblichen Schwellwerten über einen Schwellwert-Vergleichsbaustein (19) vergleicht, um auf den Werkzeugzustand (20), wie Werkzeugverschleiß, Werkzeugbruch, Werkzeug/Werkstück-Kontakt oder 'Werkzeug fehlt', zu schließen.

9. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass bei Mehrspindelbohrköpfen mehrere Verfahren und Vorrichtungen parallel, und zwar für jede Spindel bzw. Welle bzw. Werkzeug zum Einsatz kommen.

10. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass bei Mehrspindelbohrköpfen für jede Spindel bzw. Welle bzw. Werkzeug mindestens ein Abstandssensor (2), mindestens ein Signalspeicher (16), mindestens ein Differenzbildner (18) und mindestens ein Schwellwert-Vergleichsbaustein (19) vorhanden ist, allerdings nur ein Rotations-Drehgeber (10) gemäß Anspruch 2 bzw. nur ein Impulsgeber (13) gemäß Anspruch 3 an einer beliebigen Welle vorhanden ist und auch nur ein binäres Schaltignal (17) für alle Signalspeicher (16) der Spindeln des Mehrspindelbohrkopfes vorgesehen ist.

11. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass das drehwinkelproportionale Signal (11) des Rotations-Drehgebers (10) an der beliebigen Welle des Mehrspindelbohrkopfes einem separaten Rechenbaustein (21) zugeführt wird, welcher für die Auswerteeinheiten (7) jeder anderen Spindel bzw. Welle bzw. Werkzeug des Mehrspindelbohrkopfes jeweils ein weiteres drehwinkelproportionales Signal (11) berechnet, wozu nur das drehwinkelproportionale Signal des einzigen Rotations-Drehgebers (10), das jeweilige Zähnezahlerhältnis und die jeweilige Zähnezahldifferenz zwischen der Welle mit dem einzigen Rotations-Drehgeber (10) und den anderen Wellen für die die weiteren drehwinkelproportionalen Signale (11) für den Rechenbaustein (21) benötigt werden, und dass dieser Rechenbaustein (21) die Möglichkeit besitzt, die Zähnezahlerhältnisse und die Zähnezahldifferenzen einzugeben.

12. Verfahren nach Anspruch 10 und 11, dadurch gekennzeichnet, dass eine entsprechende Anordnung und Berechnung über den Rechenbaustein (21) auch mit dem Impulsgeber (13) und den sich daraus ergebenden Drehwinkeln gemäß Anspruch 3 und 4 erfolgen kann.

13. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass nicht nur Messsignale aufgrund von Unebenheiten oder Unrundheiten der Spindelwellenflächen kompensiert werden, sondern auch solche Signale, die sich in Unrundheiten aufgrund einer Restwucht der Welle ergeben.

14. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Abstandssensoren vorzugsweise aus miniaturisierten, induktiven Abstandssensoren bestehen.

15. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 1 bis

13, dadurch gekennzeichnet, dass die Abstandssensoren gemäß Anspruch 14 vorzugsweise in dem vorderen Lagerdeckel (23) untergebracht sind, wo die Wellenbelastung eingeleitet wird.

16. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Abstandssensoren vorzugsweise auf den in Spindeln üblichen Flansch bzw. Wulst (22) auf der Welle in der Nähe des vorderen Lagerdeckels (23), wo die Wellenbelastung eingeleitet wird, in axialer und/oder radialer Richtung zur Welle 10 gegen den Flansch (22) bzw. die Wulst (22) gerichtet sind und dass es sich bei diesem Flansch (22) bzw. Wulst (22) um ein übliches Element auf der Welle für ein pressluftdurchströmtes Abdichtungsabgängesystem bestehend aus Spindelgehäuseteilen, Lagerdeckel (23) 15 und Flansch bzw. Wulst (22) auf der Welle vor der ersten Lagerung aus der Sicht der Wellenbelastungseinleitungsrichtung handelt.

17. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Abstandssensoren auch bis zu  $30^\circ$  geneigt zu der axialen oder radialen Messrichtung der Welle im Spindelgehäuse (4) bzw. vorderen Lagerdeckel (23) angeordnet sein können.

18. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass zur Messung eines Drehmoments die Abstandssensoren die axiale Verlagerung eines schrägverzahnten Zahnrades bzw. dessen Wellen messen.

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

30

35

40

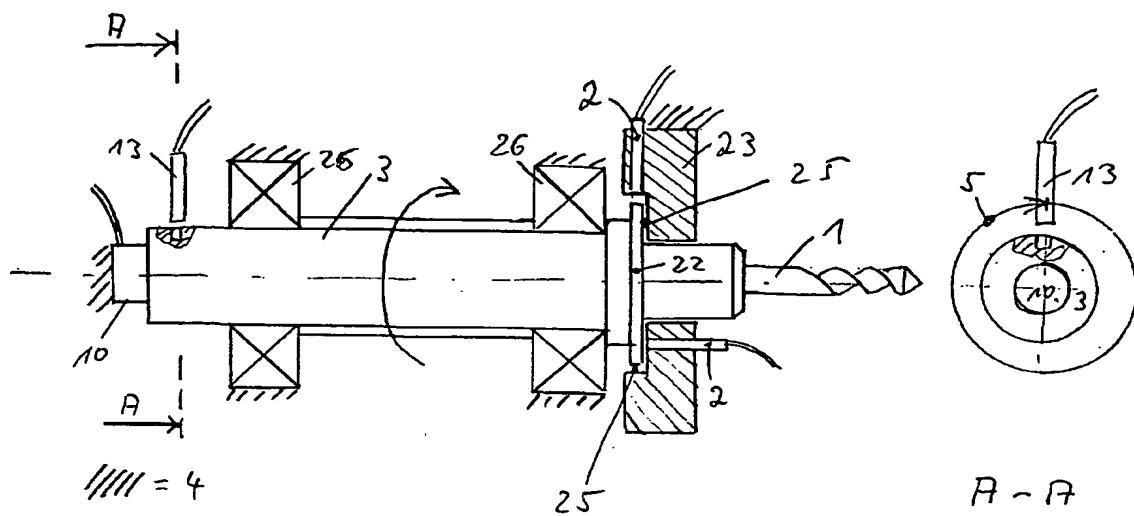
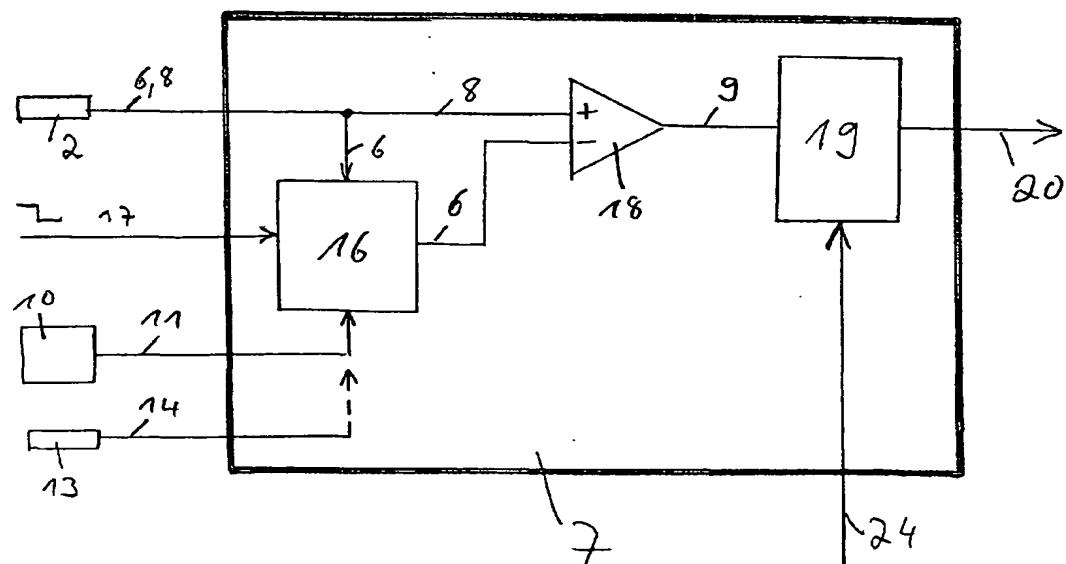
45

50

55

60

65

Fig. 1Fig. 2

